

Especificación II

Fernando Schapachnik¹

¹Departamento de Computación, FCEyN,
Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Algoritmos y Estructuras de Datos II,
primer cuatrimestre de 2023

(2) En el capítulo anterior...

- Vimos:
 - La necesidad de especificar como un paso previo a la resolución de problemas.
 - La conveniencia de hacerlo de manera formal.
 - Una introducción a los TADs.
 - El uso de cuantificadores.
 - Algunos tipos básicos: `BOOL`, `NAT`.
- Hoy
 - Vamos a ver más tipos básicos, pero que tienen algunas particularidades.
 - Vamos a ver en detalle las partes de un TAD.
 - Vamos a hablar sobre especificación y modelado.
 - Vamos a ver un par de conceptos importantes.

(3) Pero primero...

- La especificación con TADs no es la única forma de hacerlo.
- Métodos informales.
 - Tienen menor costo inicial, pero no permiten encontrar errores e inconsistencias en la especificación, ni la aplicación de técnicas automáticas para la validación, etc.
 - El costo de reparar un defecto aumenta con el tiempo entre la introducción y el descubrimiento.
- Métodos formales de especificación, de variado tipo y color.
 - Algebraicos: el sistema se especifica mediante la definición de un álgebra con sus términos, operaciones, etc. Los TADs entran en esta categoría.
 - Operacionales: la especificación se realiza en un lenguaje imperativo de alto nivel.
 - Basados en estados: el sistema se modela como un conjunto de estados posibles y las relaciones entre ellos.

(4) Un poco de filo...

- ¿Y cuándo vamos a ver los otros métodos?

⚠ ¡Depende de ustedes!

⚠ Vale lo siguiente: $(\forall t : \text{tema}) (P(t))$, donde $P(t) \equiv$ “en la Facultad se ve sólo una parte de t ”.

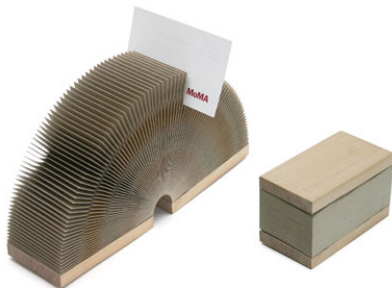
⚠ Ustedes son responsables de su educación y como tales, no deben dejar de ejercer esa responsabilidad.

(5) Volviendo al tema

- Miren con qué empezamos y con qué terminamos.

(6) Resolución de problemas (cont.)

- Descripción: “El dueño de un restaurant quiere asegurarse de que los pedidos de sus clientes sean atendidos con prolijidad. Los mozos llevan los pedidos hasta la cocina donde los colocan en un rotador de tarjetas (tipo rolodex). Cuando el cocinero se libera, saca la primera y prepara el plato allí indicado. El dueño quiere saber cuál es el próximo plato a preparar y cuántos pedidos atiende el cocinero cada día, y cuál fue el día con menos pedidos.”



(7) El restaurant

TAD RESTAURANT

géneros restaurant

operaciones

inaugurar : \longrightarrow restaurant

cant_platos_pendientes : restaurant \longrightarrow nat

próximo_pedido : restaurant $r \longrightarrow$ plato
 $\{ \text{cant_platos_pendientes}(r) > 0 \}$

tomar_pedido : restaurant \times plato \longrightarrow restaurant

preparar_plato : restaurant $r \longrightarrow$ restaurant
 $\{ \text{cant_platos_pendientes}(r) > 0 \}$

nuevo_día : restaurant \longrightarrow restaurant

día_actual : restaurant \longrightarrow día

platos_por_día : restaurant $r \times$ día $d \longrightarrow$ nat
 $\{ d \leq \text{día_actual}(r) \}$

día_menos_pedidos : restaurant \longrightarrow día

Fin TAD

(8) ¿Nos robaron?



- ¿Qué paso con, por ejemplo, el dueño?

⚠ Utilizamos un proceso llamado **abstracción**.

⚠ La abstracción consiste en identificar los aspectos importantes de un fenómeno e ignorar el resto de los detalles.

⚠ También utilizamos otro concepto: el de **modularidad**. Los TADs se incluyen de manera tal que no sea necesario (¡ni conveniente!) escribir una gran especificación que mezcle todo y dificulte la comprensión.

(9) Una pregunta más...

- El restaurant que especificamos, ¿es eficiente?
 - La pregunta no tiene sentido en una etapa de especificación.
-  Nos interesa describir “el qué”, y no “el cómo”.
-  Tratamos de hacerlo de la forma más clara posible. Muchas veces sucede que si lo programásemos tal cual obtendríamos una pobre implementación, pero para evitar eso introducimos la etapa de diseño, que veremos en la segunda parte de la materia.

(10) TAD CONJUNTO(α)

TAD CONJUNTO(α)

parámetros formales

géneros α

operaciones

No se requiere ninguna en particular.

géneros $\text{conj}(\alpha)$

observadores básicos

$\bullet \in \bullet$: $\alpha \times \text{conj}(\alpha) \longrightarrow \text{bool}$

generadores

\emptyset : $\longrightarrow \text{conj}(\alpha)$

Ag : $\alpha \times \text{conj}(\alpha) \longrightarrow \text{conj}(\alpha)$

otras operaciones

$\emptyset?$: $\text{conj}(\alpha) \longrightarrow \text{bool}$

$\#$: $\text{conj}(\alpha) \longrightarrow \text{nat}$

$\bullet - \{ \bullet \}$: $\text{conj}(\alpha) \times \alpha \longrightarrow \text{conj}(\alpha)$

dameUno : $\text{conj}(\alpha) \times c \longrightarrow \alpha$ $\{\neg \emptyset?(c)\}$

sinUno : $\text{conj}(\alpha) \times c \longrightarrow \text{conj}(\alpha)$ $\{\neg \emptyset?(c)\}$

Fin TAD

(11) TAD CONJUNTO(α) (cont.)

axiomas

$(\forall c, d : \text{conj}(\alpha)) , (\forall a, b : \alpha)$

$a \in \emptyset \equiv \text{false}$

$a \in \text{Ag}(b, c) \equiv (a \equiv b) \vee (a \in c)$

$\emptyset?(\emptyset) \equiv \text{true}$

$\emptyset?(\text{Ag}(b, c)) \equiv \text{false}$

$\#(\emptyset) \equiv 0$

$\#(\text{Ag}(a, c)) \equiv 1 + \#(c - \{ a \})$

$\emptyset - \{ a \} \equiv \emptyset$

$\text{Ag}(a, c) - \{ b \} \equiv \text{if } a \equiv b \text{ then}$
 $\quad c - \{ b \}$
 $\quad \text{else}$
 $\quad \text{Ag}(a, c - \{ b \})$
 fi

$\text{dameUno}(c) \in c \equiv$
 true

$\text{sinUno}(c) \equiv c - \{ \text{dameUno}(c) \}$

(12) Axiomatización

⚠ Las operaciones son funciones, así que debemos evitar inconsistencias. Para lograr esto, evitaremos la sobre especificación.

⚠ No hay pattern matching.

- $\text{prim_excepto_3}(3 \bullet S) \equiv 21$
- $\text{prim_excepto_3}(a \bullet S) \equiv a$
- Es una sobre especificación, que además produce una inconsistencia. La forma correcta es con un if.

⚠ Tampoco podemos especificar sobre los casos restringidos, ya que están fuera del dominio.

⚠ No debemos subespecificar.

- (Excepto que eso sea lo que estemos buscando, pero eso se da sólo en situaciones muy particulares).

(13) Axiomatización (cont.)

- Una regla práctica consiste en axiomatizar los observadores básicos sobre todos los generadores no restringidos, para asegurar que cubrimos todo el dominio.
- No siempre es necesario: $\text{doble_de_la_long}(S) \equiv \text{long}(S).2$
- En general, aunque podría haber excepciones, el resto de las operaciones deberían poder escribirse en base los observadores básicos.

(14) Axiomatización (cont.)

⚠ Desde afuera de un tipo, sólo podemos usar los observadores:

- En el caso del restaurant, imaginemos la función `platos_con_precio_X` que toma un conjunto de platos y cuántos son los que valen `X`.
- $\text{platos_con_precio_X}(r, \emptyset, x) \equiv 0$
- $\text{platos_con_precio_X}(r, \text{Ag}(p, c), x) \equiv \text{if } \text{precio}(p, r)=x \text{ then } 1+\text{platos_con_precio_X}(r, c, x) \text{ else } \text{platos_con_precio_X}(r, c, x)$
- fi

⚠ Es incorrecto (está haciendo pattern matching y viola el encapsulamiento). Desde el TAD restaurant tenemos que manipular al conjunto **a través de sus observadores**:

- $\text{platos_con_precio_X}(r, c, x) \equiv \text{if } \emptyset?(c) \text{ then } 0 \text{ else if } \text{precio}(\text{DameUno}(c), r)=x \text{ then } 1+\text{platos_con_precio_X}(r, \text{SinUno}(c), x) \text{ else } \text{platos_con_precio_X}(r, \text{SinUno}(c), x) \text{ fi}$

(15) Algunas libertades

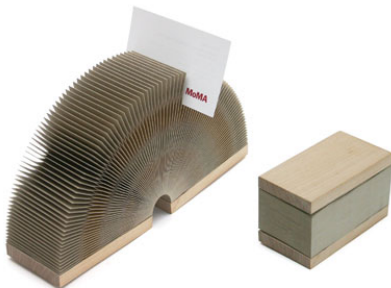
- Se **usa** todo lo que aparece mencionado (ie, podemos no escribir la cláusula `usa`).
- El **exporta** tiene un valor por omisión: los géneros, los observadores básicos y generadores.
- Además, cuando se exporta algo más, alcanza con aclarar qué es lo extra que se exporta (lo demás se da por mencionado).
- En la **axiomatización**:
 - Todas las variables libres se suponen universalmente cuantificadas.
 - Sólo cuantificamos explícitamente cuando podría generarse confusión (por ejemplo, el caso del mínimo de la transparencia 15 de la clase anterior).
- Vamos a permitirnos escribir $=$ en lugar de \equiv . Por eso, siempre que veamos $a = b$ lo interpretaremos no como “ a sintácticamente igual a b ” sino como “ a semánticamente equivalente a b ”.

(16) Elección de generadores y observadores


- Conviene que el conjunto de generadores y el de observadores sean *minimales*.
- Si los generadores no lo fuesen, se corre el riesgo de producir inconsistencias.
- Ídem con los observadores. Además, la redundancia atenta contra la claridad.
- Cómo elegirlos: ésta es la parte complicada. Veamos una herramienta que nos va servir para eso, llamada *igualdad observacional*.
- Antes, tratemos de entender de dónde proviene la dificultad. Repasemos el caso del restaurant.

(17) Resolución de problemas (cont.)

- Descripción: “El dueño de un restaurant quiere asegurarse de que los pedidos de sus clientes sean atendidos con prolijidad. Los mozos llevan los pedidos hasta la cocina donde los colocan en un rotador de tarjetas (tipo rolodex). Cuando el cocinero se libera, saca la primera y prepara el plato allí indicado. El dueño quiere saber cuál es el próximo plato a preparar y cuántos pedidos atiende el cocinero cada día, y cuál fue el día con menos pedidos.”




(18) El pasaje de las expresiones humanas a las especificaciones

- Los lenguajes naturales son ambiguos, desde varios puntos de vista.
 - “Se calcula el índice de desempleo”. ¿Cómo se define un desempleado? (términos mal definidos)
 - “En el mismo texto pero más adelante”. *Más adelante*, ¿significa número de página menor o mayor? (polisemia).
 - “Para transportar (las cosas de [un lugar de África) a (otro de Rumania)] hace falta permiso”. ¿Cuándo hace falta permiso? (ambigüedad).
 - Dicho de otra manera, tienen una *semántica difusa*.
 - Los lenguajes (formales) de especificación son rigurosos, o dicho de otra manera, tienen una *semántica precisa*.
-  A esta diferencia se la conoce como *semantic gap* o *brecha semántica*.

(19) El pasaje de las expresiones humanas a las especificaciones (cont.)

- Es un paso importante porque una vez que tenemos una especificación formal existen herramientas capaces de automatizar todo el resto del proceso (al menos para casos pequeños).

 El primer paso, es siempre “manual”, trabajoso y **subjetivo**.

(20) La brecha semántica

- Este salto es un tema de complejidad no menor.
- La ingeniería del software dedica no pocos esfuerzos a él.
- En la materia lo encararemos de manera simplificada.
- En la práctica real del desarrollo de software, la etapa de análisis se trata de un proceso interactivo en el que el especificador interroga a los expertos del dominio y otros interesados para dilucidar las ambigüedades.
- En la materia, nos manejaremos con textos sencillos y los docentes tendremos ese rol durante la ejercitación.
- Como primer paso para vincular los mundos informales y formales, utilizaremos una herramienta llamada *igualdad observacional*.

(21) Igualdad observacional (como herramienta)

⚠ La igualdad observacional es un predicado entre instancias del tipo que nos dice cuándo son iguales (desde el punto de vista de su comportamiento).

- Notemos que $Ag(1, Ag(2, \emptyset))$ es sintacticamente distinto a $Ag(2, Ag(1, \emptyset))$, aunque desde el punto de vista de comportamiento nos gustaría que sean iguales.
- Para escribir la igualdad observacional utilizaremos ciertas funciones para ver detalles particulares de las instancias. Esas funciones son los observadores básicos.

⚠ Es decir, la igualdad observacional nos permite

- deducir cuáles son los observadores necesarios,
- explicitar cómo se combinan en un único predicado.

(22) Igualdad observacional (formalmente)

- La $=_{\text{obs}}$ es un predicado del metalenguaje, y como tal no lo podemos usar en los axiomas.
- ¿Y qué es un *metalenguaje*?
- Dentro del lenguaje podemos usar \equiv .
- Nosotros vamos a escribir la igualdad observacional como una forma de deducir los observadores y vamos a utilizar \equiv (o $=$, como dijimos antes) en los axiomas.
- Y no le vamos a dar importancia a la diferencia teórica entre ambas.

(23) Congruencia

- Imaginemos el TAD NEGOCIO:

TAD NEGOCIO

generadores

inaugurar : \rightarrow negocio

vender : negocio \times producto \rightarrow negocio

observadores básicos

total_vendido : negocio \rightarrow nat

otras operaciones

ventas : negocio \rightarrow secu(producto)

Fin TAD

- De acuerdo con esa especificación dos negocios van a ser iguales si su total vendido coincide.
- Pero podría suceder que si miramos el detalle de las ventas, difieran.
- ¿Qué está pasando?

(24) Congruencia (cont.)

- ⚠ Formalmente, la función $\text{ventas}()$ rompe la congruencia. I.e., diferencia elementos que quedan en la misma clase de equivalencia de acuerdo con la igualdad observacional (o lo que es lo mismo, de acuerdo con los observadores básicos).
- ⚠ Recordemos que una función f es congruente con respecto a una relación de equivalencia \sim ssi
- $$(\forall x, y) (x \sim y \iff f(x) \sim f(y)).$$
- Desde un punto de vista de modelado, o bien desaparece $\text{ventas}()$ o bien se vuelve observador básico, y por ende miembro de la igualdad observacional.
 - Si no hacemos eso, se genera una “inconsistencia”: hay instancias del TAD `NEGOCIO` que son equivalentes según los observadores básicos, pero que son diferenciables de acuerdo a los axiomas efectivamente escritos.

(25) ¿Qué significa modelar?

- El de los TADs es un lenguaje lógico, y como tal, se busca que tenga un modelo: un conjunto para *interpretar* el género y funciones matemáticas para *interpretar* las operaciones.
- Sin embargo, cuando nos referimos a modelar, pensamos en la realidad como nuestro lenguaje y en encontrar un TAD que la capture.
- ¿Cómo aprendemos a pasar de la realidad al TAD? Con la práctica. Tenemos que resolver los ejercicios. Además, en las clases prácticas vamos a ir viendo algunas ideas.

(26) Repaso y perspectiva

- Vimos el TAD Conjunto (¡paramétrico!).
- Además de varios conceptos importantes.
 - Abstracción.
 - Modularidad.
 - Brecha semántica.
 - Igualdad observacional.
 - Congruencia.

 Ojo, bibliografía avanzada.

- Bernot, G., Bidoit, M., and Knapik, T. 1995. *Observational specifications and the indistinguishability assumption*. Theor. Comput. Sci. 139, 1-2 (Mar. 1995), 275-314. DOI=[http://dx.doi.org/10.1016/0304-3975\(94\)00017-D](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3975(94)00017-D)
- Guttag, J. V. and Horning, J. J. 1993. *Larch: Languages and Tools for Formal Specification*. Springer-Verlag New York, Inc.
- *Abstraction and Specification in Software Development*, Barbara Liskov y John Guttag, MIT Press, 1986.
- *Fundamentals of Algebraic Specification 1. Equations and Initial Semantics*. H. Ehrig y B. Mahr Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Germany, 1985.
- *Programación Metódica*, José Luis Balcázar, McGraw-Hill, 1993.